
CIRAD / UR Systèmes Cotonniers

**Rapport de mission auprès de la
SODECOTON**

Garoua - Cameroun

Fertilisation minérale et Fertilité des sols.

Du 26 avril au 3 mai 2006.



Michel CRETENET

CIRAD CA

UR Systèmes cotonniers en petit paysannat



Evaluation des formules d'engrais actuellement vulgarisées.

Mission de programmation de recherches sur les questions de fertilisation et de fertilité des sols.

Michel CRETENET
du 26 avril au 3 mai 2006.

Sommaire:

Résumé

Introduction

1. Composantes de la fertilité des sols.
2. Le processus de dégradation de la fertilité des sols.
 - 2.1. Les déficiences minérales à l'origine du processus.
 - 2.2. L'acidification du sol.
 - 2.3. L'altération des fonctions de la MOS : minéralisation et CEC.
3. Programme de R&D : propositions.
 - 3.1. Tests d'évaluation des déficiences minérales.
 - 3.2. Essais fumure neutre et amendement calci-magnésien
 - 3.3. Etude de la MOS sous les divers systèmes de culture.

Annexe 1 : Calendrier et déroulement de la mission

Annexe 2 : Références bibliographiques des études et expérimentations sur la fertilisation des systèmes de culture cotonniers et la fertilité des sols.

Annexe 3 : Tests d'évaluation des déficiences minérales

Annexe 4 : Symptômes des déficiences minérales

Annexe 5 : Essai acidification du sol

Remerciements :

Je tiens à remercier ici la SODECOTON à travers MM. Hervé GRUSON (DGA), Michel THEZE (DPA), Paul ASFOM (DPA), Abdoulaye ABOU ABA (Projet ESA), de m'avoir confié cette mission, merci de leur accueil et de l'organisation de cette mission. Merci également aux chercheurs de l'IRAD (MM. J.P. OLINA, J.WEY, O.BALARABE) et aux Chefs de Région de Garoua et Ngong, pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à la présentation de leurs activités, pour les réponses apportées à mes questions et pour la visite des sites d'intervention du projet ESA.

Résumé :

La mission avait pour objectifs :

- a. d'évaluer (i) les états de la fertilité des sols dans les grandes zones du Nord Cameroun et (ii) l'adéquation des formules d'engrais dans le contexte actuel,
- b. de proposer un programme de recherches et de R&D visant (i) à améliorer l'efficacité des engrais minéraux apportés (court terme) et (ii) à améliorer la maîtrise de la fertilité des sols (moyen terme).

Un ensemble important d'études et d'expérimentations plus ou moins récentes, sur la fertilisation et la fertilité des sols en zones cotonnières, réalisées au Cameroun et ailleurs en Afrique de l'Ouest (Mali, Burkina Faso, Bénin, Côte d'Ivoire), attribuent un rôle moteur essentiel à la composante chimique du sol dans l'initialisation du processus de dégradation de la fertilité des sols. Les bilans minéraux en certains éléments sont chroniquement déficitaires et les réserves du sol en ces éléments s'épuisent. Ainsi après quelques 10 à 20 années de culture selon les réserves minérales du sol, des déficiences minérales en potassium et en magnésium sont induites par les modes de culture pratiqués. Actuellement la fréquence élevée des symptômes foliaires correspondant à ces déficiences minérales témoigne de l'importance du phénomène. Cette situation n'est pas spécifique du Nord Cameroun et tous les vieux bassins cotonniers d'Afrique de l'Ouest connaissent un développement semblable de ces déficiences minérales révélées par l'aspect des cultures. Par ailleurs, on peut soupçonner comme cause des faibles rendements enregistrés en 2005 au Cameroun, la faiblesse des poids moyens capsulaires et l'attribuer en grande partie à une déficience de la nutrition potassique du cotonnier accentuée par les pratiques particulières de fertilisation minérale en 2005 (moins de 100 kg/ha de complexe NPKSB). Deux conséquences résultent de l'apparition de ces déficiences minérales induites par les modes de culture (faiblesse des fumures et des restitutions organiques), l'acidification du sol et la baisse des volumes de la biomasse produite par hectare. Le sol s'acidifie du fait de la perte de bases (K, Ca, Mg) du complexe d'échange cationique constitué des argiles et des particules fines de carbone du sol. De façon concomitante, à la baisse des biomasses produites en situations de déficiences minérales correspond une diminution des quantités de carbone retournées au sol (racines et résidus de la culture). Cette diminution du taux de carbone du sol affecte deux fonctions essentielles de la matière organique du sol : la libération d'éléments minéraux par le processus de minéralisation de la matière organique du sol et la capacité d'échange cationique du sol correspondant aux particules fines de carbone.

Le programme proposé concerne les 3 problématiques abordées dans cette compréhension de la dégradation des sols, à savoir, la correction des déficiences minérales induites, le contrôle du processus d'acidification du sol et l'entretien du statut organique du sol.

Le dispositif de tests en parcelles paysan proposé compare 4 fumures : la fumure vulgarisée actuellement, un complément potassique, un complément potassique et magnésien et un complément potassique, magnésien et calcique. Une formulation micro granulée de la fumure vulgarisée moins onéreuse, proposée par ADER

pourrait être intégrée comme un 5^{ème} objet du test. La formule de base (FV) est celle vulgarisée actuellement (200 kg/ha 22.10.15.5.1 dans l'Extrême Nord, 200 kg/ha 15.20.15.6.1 + 50 kg/ha urée dans le Nord). Une formulation de base moins riche en P_2O_5 proposée par YARA pour le Nord pourra être testée en comparaison simple de la fumure vulgarisée actuelle dans un dispositif distinct, on sait en effet pouvoir disposer d'un peu de marge de manœuvre sur le phosphore de la formule actuelle dans le Nord. L'observation de symptômes caractéristiques des déficiences en K et Mg sera faite par les agents chargés du suivi du dispositif. Une planche photographique illustrant ces symptômes leur sera fournie en début de campagne. On prévoit 50 tests "interprétables" soit 70 mis en place, dans chacune des 5 "grandes régions" géographiques suivantes :Touboro, Garoua, Guider, Yagoua et Mowo. En 2007, les tests en parcelles paysan concerneront différentes formules d'engrais établies à partir des résultats des tests de 2006. En 2008, ce type de dispositif pourrait aborder la question des doses à recommander sur la base de courbes de réponse obtenues pour les formules retenues à l'issue de la campagne de tests de 2007.

Il est proposé d'évaluer différents modes de fertilisation minérale susceptibles de limiter voire d'enrayer le processus d'acidification du sol résultant du déficit des bilans minéraux K,Ca et Mg, et du rôle acidifiant des apports d'azote. Dans chacune des 5 "grandes régions", un essai statistique est proposé pour une durée de 5 ans. L'essai est constitué de 2 séries (1 série coton et 1 série céréale : maïs au Nord et sorgho dans l'Extrême Nord). Trois traitements sont comparés sur chacune des cultures de la rotation : la fumure vulgarisée (FV), une fumure à réaction neutre (FN) composée d'engrais simples apportant les mêmes quantités d'éléments fertilisants mais non acidifiante et la fumure vulgarisée complétée d'un amendement d'entretien (FV+dolomie) sur la base de 2.8 kg de dolomie par kg d'azote apporté par la fumure.

L'objectif de l'étude du statut organique du sol proposée est la caractérisation des fonctions de la matière organique du sol (MOS) selon les quantités et la nature des biomasses restituées au sol. Cette caractérisation concerne le coefficient de transformation de la biomasse en matière organique du sol (coefficient iso-humique K_1 du modèle Hénin Dupuis), la minéralisation annuelle de la matière organique du sol (coefficient K_2 du modèle Hénin Dupuis), et la contribution des fractions granulométriques du carbone du sol à la capacité d'échange cationique (CEC). Une évaluation des ces différents coefficients a été faite à l'occasion d'un mémoire de DEA pour les systèmes de culture pratiqués dans la région de Garoua. L'importance de la MOS sur la CEC a été mise en évidence au Tchad dans le cadre d'une thèse. L'étude proposée s'adresse à l'IRAD et vise à prolonger le travail qui a été fait sur la zone de Garoua et dans les systèmes de culture cotonniers du Tchad. Les systèmes de culture en comparaison sur les sites du projet ESA (Zouana et Pintchoumba) mettent en jeu une extrême variabilité des quantités de biomasses restituées au sol et une grande diversité de la nature de ces biomasses. Ces dispositifs constituent un support exceptionnel pour l'étude (sur la base de l'analyse d'échantillons de sols) des fonctions assurées par la matière organique du sol (minéralisation et contribution à la capacité d'échange). Le dispositif support de l'étude, devra être élargi aux systèmes de culture SCV pratiqués par les paysans et à des systèmes de culture paysans conduits avec des fumures organiques. Il convient de s'intéresser à des systèmes de culture conduits de façon sensiblement identique (volants organiques mis en jeu équivalents) sur des pas de temps de 5 à 10 ans, car il convient que le système

(cultures et sol) ait atteint un certain équilibre dans les différents compartiments organiques du sol. Une telle étude en s'intéressant aux "coûts" de l'entretien d'un niveau de matière organique dans le sol est en mesure de correspondre à des travaux de type DEA voire de thèse de doctorat couplée aux études plus "science du sol" sur la matière organique du sol avec le paramétrage du modèle Hénin-Dupuis des différents systèmes de culture pratiqués ou expérimentés.

Introduction :

La SODECOTON définit ainsi la problématique en matière de fertilité des sols et de fertilisation des systèmes cotonniers au Nord Cameroun :

"Depuis de nombreuses années la SODECOTON s'emploie dans le cadre de ses attributions propres ou comme maître d'œuvre de projets de développement, à restaurer et à préserver la fertilité des sols de sa zone d'intervention, fertilité d'ailleurs toute relative eu égard à la nature de ces sols. Diverses techniques ont ainsi été mises au point et vulgarisées (lutte anti-érosive, intégration de l'arbre à la parcelle, production et utilisation de fumure organique, restauration de la jachère, ...) en complément de celles basées sur l'utilisation de la fumure minérale, laquelle demeure pour le moment incontournable.

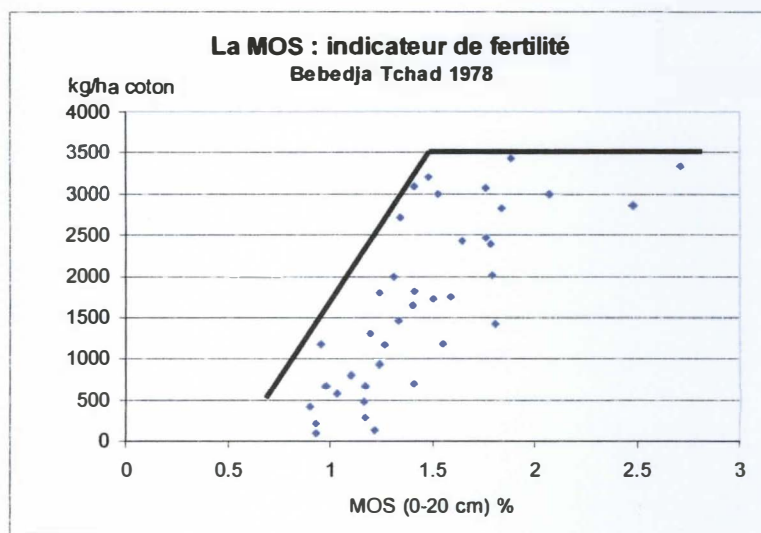
Il s'avère toutefois que les doses d'engrais minéraux réellement appliquées tant sur coton que sur les céréales sont dans la plupart des cas largement insuffisantes, et que par ailleurs ce type de fumure ne permet pas de contrer l'appauvrissement des terres en matières organiques. Avec le temps, des phénomènes liés à la dégradation de la fertilité apparaissent, plus ou moins vite selon la nature des sols, tels qu'une acidification ou des symptômes de carence en magnésium et potassium (entre autres).

Les formules d'engrais actuellement utilisées ont été mises au point par la recherche il y a plus d'un quart de siècle, dans un contexte passablement différent de l'environnement que nous connaissons aujourd'hui. Il nous paraît donc opportun d'en vérifier l'adéquation aux conditions qui prévalent actuellement, tant au niveau des sols que des pratiques culturales, afin de procéder à d'éventuels ajustements."

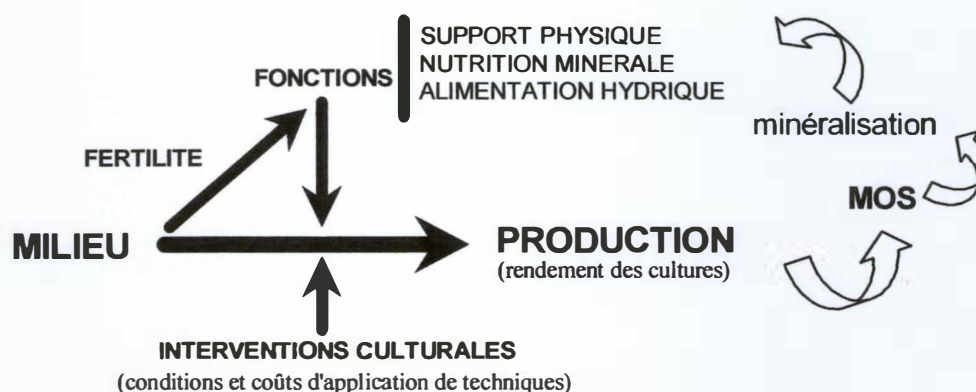
Ces inquiétudes de la SODECOTON sur la baisse des rendements et l'évolution de la fertilité des sols dans la zone cotonnière camerounaise sont partagées par la plupart des Sociétés Cotonnières qui interviennent dans les anciens bassins cotonniers d'Afrique de l'Ouest, notamment au Mali et au Burkina. Il faut cependant se garder de raccourcis qui attribueraient à la culture cotonnière un rôle moteur dans cette dégradation de la fertilité des sols. C'est en effet la détérioration du contexte économique qui a conduit à la relative extensification des systèmes de culture cotonniers. Ainsi, au Burkina Faso par exemple en 1986, un kilogramme d'engrais NPK correspondait à la valeur de 0,88 kg de coton graine, 10 ans plus tard il fallait au paysan burkinabé vendre 1,18 kg de coton graine pour la même quantité d'engrais et en 2006 il lui faudra vendre 1.51 kg de coton graine. Aussi la baisse des quantités d'engrais utilisées dans les systèmes cotonniers en réponse à cette dégradation des termes de l'échange est tout à fait logique de la part du cotonculteur africain. Parmi les conséquences de cette extensification des pratiques culturales, c'est moins la baisse immédiate des rendements que la perte de fertilité du sol induite par l'extensification qui est dommageable et inquiétante.

1. Composantes de la fertilité des sols.

Il y a consensus de la communauté des agronomes pour considérer le taux de carbone du sol, soit sa teneur en matière organique ($MOS \% = 1.72 * C \%$) comme le meilleur indicateur synthétique de la fertilité des sols des savanes africaines. A titre d'exemple la figure suivante illustre la relation entre matière organique du sol et rendements obtenus sur la station de Bebedja au Tchad¹.



La fertilité du sol est comprise comme la contribution du sol au processus de production, à travers les fonctions de support physique et de réserve en eau et en éléments minéraux que le sol assure plus ou moins bien au cours du cycle de la culture.



Processus de production et fertilité du sol.

Le processus de production comprend l'ensemble de la biomasse à savoir l'appareil végétatif aérien, les racines et la récolte. Une partie de cette biomasse (résidus de culture, racines) retourne au sol pour intégrer au terme d'un processus relativement rapide en conditions tropicales, le stock de la matière organique du sol (MOS) et contribue ainsi à améliorer la fertilité du sol. Une partie (annuellement 5 à 6%) de la

¹ L. Richard, B. Djoulet. 1985 La fertilité des sols et son évolution en zone cotonnière au Tchad. Coton et Fibres Tropicales Vol.40 n°6

MOS sous l'action de bactéries "minéralise" et libère ainsi les éléments minéraux, principalement l'azote, nécessaires aux cultures. C'est là une contribution de la MOS à la nutrition minérale de la culture.

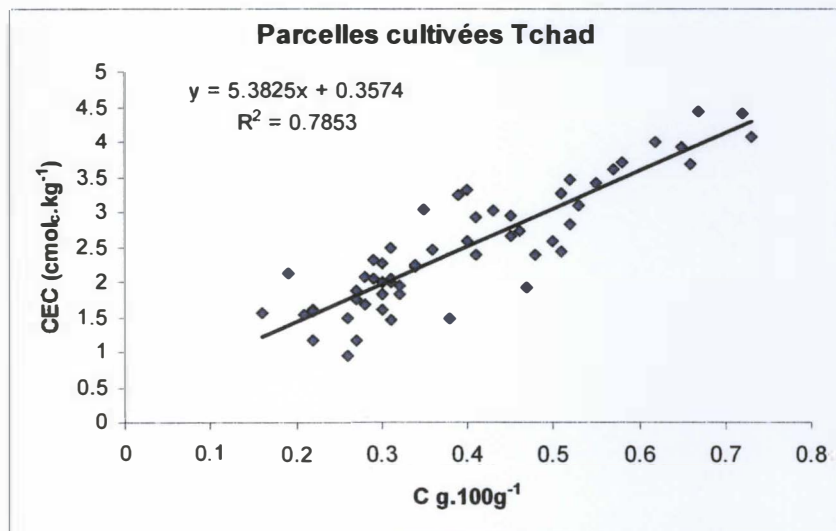
La composante physique de la fertilité du sol implique les interactions entre les compartiments organiques du sol (de surface et incorporées, brutes et humifiées) et la dynamique de l'eau, à travers :

- les états de surfaces : les particules et éléments organiques à la surface du sol modifient les conditions de ruissellement et d'érosion, d'infiltration et d'évaporation. Aussi les mulch et les techniques de gestion des résidus de culture, prennent toute leur importance dans les situations où la durée de la saison des pluies est particulièrement courte. En effet, les résidus organiques en améliorant l'infiltration des premières pluies et en combinaison avec les techniques de semis direct, vont permettre par une implantation précoce de la culture de rallonger le cycle de la culture et augmenter ainsi le potentiel de production. Par ailleurs, en limitant les pertes par évaporation durant le cycle de culture, la technique du mulch pourra augmenter les disponibilités en eau dans le sol en fin de campagne et rallonger ainsi le cycle de la culture.
- la structure du sol : c'est le "complexe argilo-humique" associant sous forme d'agréats des particules d'argile et des molécules organiques (humus) qui constitue la structure du sol. La structure du sol est en relation avec l'enracinement des cultures et la dynamique de l'eau : une bonne structure diminue la contrainte mécanique vis-à-vis de l'enracinement, elle augmente la réserve en eau du sol, elle diminue l'évaporation du sol, elle améliore l'accès aux réserves minérales et hydriques à travers la solution du sol.

Le sol assure par ailleurs une fonction de réserve et de mise à disposition d'éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes, ces éléments minéraux proviennent de l'altération de la roche mère et de la minéralisation de la matière organique. Certains de ces éléments comme le phosphore, le soufre ou l'azote (NO_3) sont "libres" ils suivent les mouvements de l'eau dans le sol et sont sous une forme assimilable par les racines dans la solution du sol. D'autres comme le calcium (Ca^{++}) le magnésium (Mg^{++}) ou le potassium (K^+) sont retenus par les charges négatives que présentent les particules d'argiles et les molécules organiques du sol, cette caractéristique de l'argile et de la matière organique du sol vis-à-vis des cations (ions chargés positivement) correspond à ce que l'on appelle la capacité d'échange cationique (CEC) du sol. La matière organique du sol (MOS) participe à la fois à la capacité d'échange cationique et à la mise à disposition d'éléments minéraux lors de sa minéralisation.

- la capacité d'échange cationique (CEC) : dans un sol ferrugineux tropical la part de la CEC correspondant aux fractions les plus fines de la MOS ($<2\mu\text{m}$) représente jusqu'à 80 % de la capacité d'échange totale du sol, le complément soit de l'ordre de 20 % de la CEC, correspond à des argiles

de type kaolinite dont le taux varie de 5 à 10 %. Le graphe suivant² illustre l'importance du carbone du sol dans sa contribution à la capacité d'échange cationique : avec une teneur en carbone de 0.5% (soit MOS 0.86 %), la CEC estimée atteint 3.05 cmole.kg⁻¹ dont 88 % correspond à la composante organique.



- la garniture cationique de la CEC : la minéralisation (biologique ou brûlis) de la matière organique en libérant du calcium (Ca⁺⁺), du magnésium (Mg⁺⁺) et du potassium (K⁺) contribue à regarnir la CEC et à limiter ainsi l'acidification du sol. Un ordre de grandeur des quantités de cations (K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) contenus dans l'horizon 0-20 cm sous forme échangeable est estimé dans le tableau suivant :

Sol type des zones de savanes cotonnières (ferrugineux tropical ou alfisol) :

	MOS	C	CEC	Ca	Mg	K
Teneurs 0-20 cm	0.58 %	3.3 g.kg ⁻¹	2.25 cmole.kg ⁻¹	1.6 cmole.kg ⁻¹	0.4 cmole.kg ⁻¹	0.12 cmole.kg ⁻¹
quantité/ha		10 T		1000 kg	140 kg	140 kg

2. Le processus de la dégradation de la fertilité des sols.

Les études en parcelles paysannes et les expérimentations de longue durée sur l'évolution de la fertilité des sols sous les systèmes de culture cotonniers sont nombreuses (annexe 2). Parmi les études les plus récentes réalisées au Cameroun, il convient de s'attarder sur un travail de DEA effectué en 2004 dans le cadre d'une convention entre l'IRAD et le projet ESA³. Ce n'est pas tant le diagnostic de la baisse

² Evolution de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des alfisols tropicaux cultivés. Guibert H., 1999. s.l., 203 p Thèse Dr de l'INPL.

³ OBSERVATOIRE DE LA FERTILITE AU NORD CAMEROUN : Evolution de la fertilité des sols du bassin de la Bénoué 2004 (C.Fesneau, mémoire de DEA).

de la fertilité du sol évaluée sur des pas de temps de 10 à 30 ans, qui constitue l'intérêt de cette étude, que la démonstration que la composante chimique du sol joue un rôle moteur essentiel dans l'**initialisation** du processus de dégradation de la fertilité du sol. Une fois le processus initialisé, c'est le statut organique du sol qui est affecté et la principale manifestation correspond à une baisse des rendements du cotonnier et des cultures en rotation. Cette démonstration dans les conditions camerounaises (sols ferrugineux sur grès des régions de Garoua et Ngong) confirme le processus et les mécanismes mis en évidence au Mali dans des essais de longue durée⁴.

2.1. Les déficiences minérales à l'origine du processus.

Les bilans minéraux (apports par les engrais et les fumures organiques - exportations par les récoltes et les résidus de culture non restitués au sol) en certains éléments sont chroniquement déficitaires et les réserves du sol en ces éléments s'épuisent. Ainsi après quelques 10 à 20 années de culture selon les réserves minérales du sol, des déficiences minérales en potassium et en magnésium sont induites par les modes de culture en cours.

Les exportations minérales pour les différents cations, par les récoltes et les résidus de culture sont évaluées dans le tableau suivant :

	Eléments kg/ha ⁵		
	Ca	Mg	K
COTON (1600 kg/ha)			
Récolte	2	3	12
Résidus	25	10	67
MAIS (2300 kg/ha)			
Récolte	2	3	12
Résidus	10	8	80
SORGHO (1000 kg/ha)			
Récolte	1	2	5
Résidus	11	10	58
Cations échangeables (0-20 cm)	1000 kg	140 kg	140 kg
Sol ferrugineux type			

Il est clair que le statut potassique (et dans une moindre mesure le statut magnésien) des sols ferrugineux types est extrêmement fragile avec la perte de 4 à 30 % du potassium échangeable (1 à 5 % pour le magnésium échangeable) exporté par an en fonction du mode de gestion des résidus de culture. Les apports minéraux sous forme d'engrais ne concernent que le potassium et correspondent à 12.5 kg K (15 kg K₂O) pour 100 kg d'engrais NPKSB correspondant aux formules vulgarisées actuellement. Les bilans minéraux pour tous les cations sont chroniquement

⁴ Expérimentation des systèmes de culture dans les pays tropicaux : cas des zones cotonnières d'Afrique noire. Crétenet M., 1994.

⁵ C. PIERI 1989. Fertilité des terres de Savanes : bilan de trente années de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara.

déficitaires compte tenu de la gestion actuelle des résidus de culture (au mieux le brûlis !).

Déjà en 1993, la question de l'émergence de déficiences potassiques était soulevée au Mali⁶ en particulier dans le vieux bassin cotonnier de Koutiala, où sur la base de données de la CMDT (fertilisations et rendements) le bilan potassique d'une rotation triennale Coton / Sorgho / Sorgho couramment pratiquée à l'époque pouvait s'établir ainsi :

	Fumure K (kg/ha)		Exportations K (kg/ha)		Bilan K
	engrais	fumier	récolte	résidus	
Coton	12	17	11	16	+2
Sorgho 1	4	17	5	52	-36
Sorgho 2	4	17	5	52	-36
				sur 3 ans	-70

Le bilan "moyen annuel" accusait ainsi un déficit annuel de l'ordre de 23 kg K/ha (30 K₂O/ha/an). Cette évaluation d'une situation préoccupante venait confirmer les résultats d'"enquêtes potassium" par diagnostic foliaire sur cotonnier réalisées en 77 et 88 en milieu paysan avec des cas de présomption de déficience (F(K) < 90%) qui étaient passés de 3% en 77 à 14% en 88 !

Aussi, les symptômes caractéristiques des déficiences potassique et magnésienne illustrées ci-après, sont de plus en plus couramment observés au Cameroun et dans les vieux bassins cotonniers.



Symptômes foliaires de déficiences en potassium et en magnésium.

A ces symptômes sont associées des baisses de rendement plus spécialement dus à de faibles poids moyens capsulaires, voire à la "momification" des capsules pour ce qui concerne le potassium. La période d'assimilation la plus intense du potassium correspond en effet à la phase de "remplissage" des capsules. Ainsi la faiblesse des poids moyens capsulaires (le "coton ne pèse pas") due à une déficience de la nutrition potassique de la plante lors du remplissage des capsules est sans doute en partie responsable des faibles rendements enregistrés en 2005 au Cameroun. Des

⁶ M.Cretenet 1993. Rapport de mission d'appui au Projet Mali Sud III (FAC).

éléments rapportés par les agents de terrain sur les pratiques de fertilisation lors de la dernière campagne (sous dosage du complexe NPK) et sur l'aspect des cultures confortent cette hypothèse.

Actuellement la fréquence élevée des symptômes foliaires correspondant à ces déficiences minérales que l'on peut observer en milieu paysan⁷, témoigne de l'importance du phénomène. Cette situation n'est pas spécifique au Nord Cameroun et les vieux bassins cotonniers d'Afrique de l'Ouest connaissent un développement semblable de ces déficiences minérales révélées par l'aspect des cultures.

2.2. L'acidification du sol.

Deux conséquences résultent de l'apparition de ces déficiences minérales : l'acidification du sol et la baisse des volumes de biomasse élaborée. L'acidification du sol correspond dans un premier temps à la désaturation (remplacement des ions Ca^{++} , Mg^{++} et K^{+} par des ions H^{+}) du complexe d'échange cationique constitué des argiles et des particules fines du carbone du sol. A un stade plus avancé du processus, les ions Al^{+++} du complexe d'échange passent dans la solution du sol et provoquent le phénomène de toxicité aluminique à laquelle le cotonnier est particulièrement sensible. Quelques cas de "stérilité" ont pu être attribués à la toxicité aluminique, notamment dans le sud du Bénin.

L'essai mis en place en 1970 à Aplahoué (Sud Bénin), illustre particulièrement bien le processus d'acidification du sol. Le dispositif mis en place sur terre de Barre avec une succession annuelle maïs-coton permet d'étudier l'évolution de la fertilité du sol sous différents modes de fertilisation minérale et de gestion des apports organiques. Ainsi, dans une phase dite d'"épuiement" de 10 années, 6 objets étaient en comparaison :

- 2 modalités pour la fertilisation minérale :
 - F_0 : témoin non fertilisé
 - F_1 : $(115 \text{ N} + 72 \text{ P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ K}_2\text{O}) / \text{ha} / \text{an}$
- combinées à 3 modes de gestion des apports organiques :
 - a : exportation totale des résidus de culture
 - b : restitution directe des résidus de culture
 - c : b + paillage (10 T/ha/an de pailles extérieures au dispositif).

En 1980, au terme de cette phase d'épuisement, la stérilité des parcelles sans fertilisation minérale avec exportation des résidus de culture est atteinte (43 kg/ha en maïs et 21 kg/ha en coton).

⁷ Evaluation du niveau général de la fertilité des sols 2005 (Dr. J.Ekorong, convention SODECOTON/ASCAM).

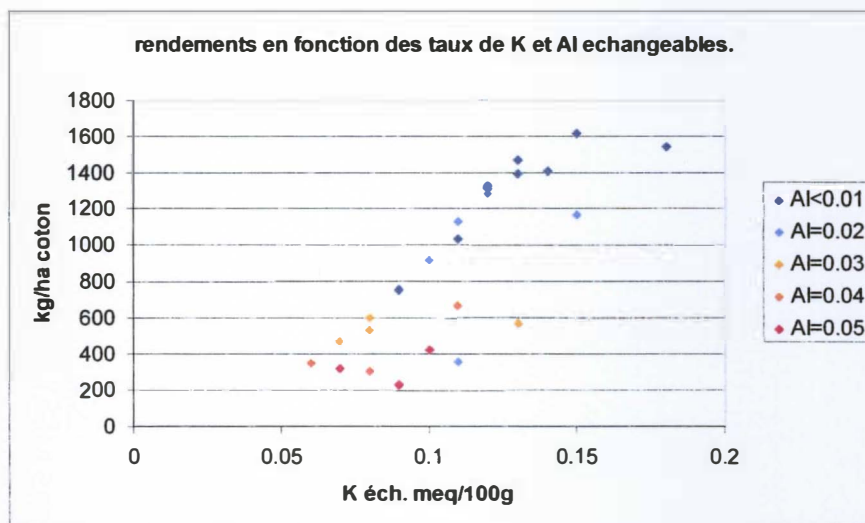
Résultats des tests et essais de fertilisation en milieu paysan dans la zone cotonnière au Nord Cameroun 2006 (J.P. Olina)

	Rendements au terme de la phase d'"épuisement" (kg/ha)	
objets	Maïs	Coton
F0a	43	21
F0b	347	256
F0c	2469	1895
F1a	686	207
F1b	1346	855
F1c	3205	2304

En 1980, des prélèvements de terres ont été effectués sur chacune des 48 parcelles élémentaires du dispositif selon 5 horizons (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-50cm et 50-70cm). De l'analyse de ces sols, il ressort :

- le rôle acidifiant (0.5 point de pH) de la fumure minérale, plus particulièrement entre 20 et 50cm de profondeur. La désaturation du complexe porte sur le calcium et le magnésium.
- par contre, il y a enrichissement relatif en P_2O_5 assimilable et K échangeable avec la fumure minérale.
- on ne note pas d'effet de la fumure minérale sur le taux de matière organique du sol (M.O.S.).
- la restitution des résidus de culture a un effet sur le taux de MOS.
- la restitution des résidus contribue à une meilleure garniture cationique du complexe, essentiellement pour le Ca et le K. L'effet sur le pH apparaît en deça de 20cm.
- C'est le paillage qui a les effets les plus marqués, aussi bien sur le taux de MOS que sur le pH et la garniture du complexe d'échange cationique (K, Ca, Mg).

L'importance du statut potassique et de l'apparition d'aluminium échangeable sur le rendement en coton est particulièrement bien illustré par le graphe suivant :

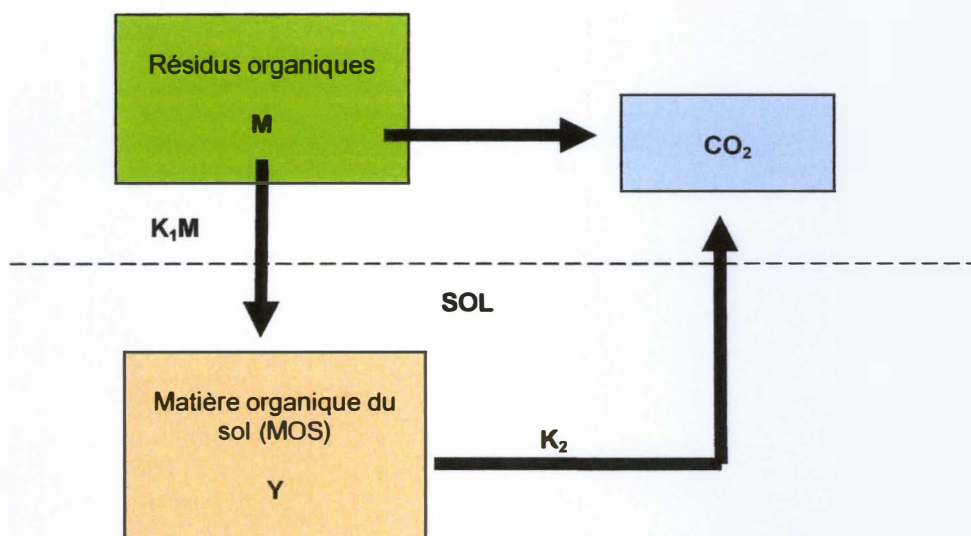


Dans les sols où la contribution de la MOS à la CEC est importante, c'est le cas des sols ferrugineux sur grès de Garoua, la baisse de pH correspondant à la désaturation du complexe d'échange est moins importante que dans des sols plus argileux, du fait qu'il y a une diminution de la CEC (baisse du taux de carbone du sol) simultanée à la désaturation du complexe, mais le risque d'une toxicité aluminique demeure.

2.3. L'altération des fonctions de la MOS : minéralisation et CEC.

La baisse des biomasses produites est une conséquence immédiate du processus d'acidification du sol. Cette baisse concerne aussi bien les rendements que les quantités de carbone correspondant aux racines et aux résidus de la culture retournés au sol. Aussi, la diminution du taux de matière organique du sol qui en résulte, affecte deux fonctions essentielles de la MOS : la libération d'éléments minéraux par le processus de minéralisation de la matière organique du sol et la capacité d'échange cationique du sol correspondant aux particules fines de carbone.

Pour estimer le bilan organique du sol, le modèle Hénin Dupuis est couramment utilisé. Une partie des résidus organiques bruts ou des apports organiques (fumiers, composts, terres de parcs ...) est directement minéralisée produisant du CO_2 , une autre partie $K_1 M$ (K_1 coefficient iso humique dépendant de la nature des résidus organiques) entre dans le compartiment organique du sol (MOS).



Modèle de Hénin Dupuis

La matière organique du sol (MOS) va quant à elle minéraliser selon un coefficient de minéralisation annuel K_2 appliqué à la quantité Y diminuant d'autant le taux initial de carbone du sol. Cette diminution de la MOS va tendre vers une situation d'équilibre pour laquelle les "entrées annuelles" de carbone dans le sol provenant des résidus et apports organiques (fumure organique, résidus de culture, systèmes racinaires) équilibrent la minéralisation de la MOS ($K_2 Y$).

Une étude récente conduite au Nord Cameroun⁸ établit la valeur estimée de K_2 à 0.06 (6% de la MOS sont ainsi annuellement minéralisés), valeur comparable aux estimations réalisées par ailleurs en Afrique. Appliqué au sol ferrugineux type évoqué

⁸ Observatoire de la fertilité au Nord Cameroun. C.Fesneau 2004. Mémoire de DEA.

précédemment, ce sont donc quelques 600 kg/ha/an de carbone du sol qui sont minéralisés annuellement dans l'horizon 0-20cm.

Les quantités de matières organiques à incorporer dans le sol pour compenser ces pertes par minéralisation varient de 1.5 TMS/ha/an si il s'agit d'apports organiques type fumier ($K_f \# 0.40$), à 4 TMS/ha/an si il s'agit de résidus de culture ($K_f \# 0.15$).

Les quantités de matière sèche en mesure d'être restituées au sol dépendent de la culture et sont en relation avec le rendement par le biais de l'indice de récolte (harvest index). A titre d'exemples : pour un rendement coton de 1600 kg/ha, les résidus de culture sont de l'ordre de 3 TMS/ha, un rendement sorgho de 1500 kg/ha correspond à 4 TMS/ha sous forme de résidus de culture et un rendement maïs de 2300 kg/ha correspond à 2.5 TMS/ha. On est loin des 4T/ha/an de MS en mesure d'équilibrer la perte par minéralisation annuelle évaluées précédemment. La conséquence est que le taux initial de carbone du sol 3.3 g.kg^{-1} va baisser jusqu'à un niveau où il y aura équilibre entre les quantités de carbone du sol minéralisées et les quantités de carbone apportées par la matière sèche des résidus de culture complétées éventuellement des apports de fumier, composts ou terres de parcs. L'étude conduite au Cameroun évalue le taux d'équilibre à partir de quelques 27 situations culturales analysées à 3 reprises à 8, 14, 31 ans d'intervalles, à 2.6 g.kg^{-1} , taux pour lequel la minéralisation de 500 kg C/ha/an pourra être équilibrée soit sous forme de résidus de culture (3 TMS/ha/an), soit par des apports de fumier (1250 kg/ha/an) de bonne qualité. On voit ici toute la fragilité des équilibres entre les différentes composantes du cycle du carbone sous ces latitudes et pour ce type de sols.

3. Programme de R&D : propositions.

Le programme proposé concerne les 3 problématiques de recherche abordées dans l'approche du processus de la dégradation des sols présentée. Cela concerne la correction des déficiences minérales induites au cours du temps, le contrôle du processus d'acidification du sol et l'entretien du statut organique du sol.

3.1. Tests d'évaluation des déficiences minérales.

L'objectif de ce dispositif est d'évaluer la situation des déficiences minérales en milieu paysan. Le dispositif est constitué d'un ensemble de tests en parcelles paysan comparant 4 fumures :

- FV : fumure coton vulgarisée
- FV_K : FV + 50 kg/ha KCl
- FV_K_Mg : FV + 50 kg/ha KCl + 50 kg/ha Kiésérite
- FV_K_Ca_Mg : FV + 50 kg/ha KCl + 100 kg/ha dolomite
- "FA : formulation micro granulée (ADER) de l'engrais SODECOTON"

La formulation micro-granulée proposée par ADER pourrait être intégrée comme un 5^{ème} objet du test.

La formule de base (FV) est celle en vigueur actuellement (200 kg/ha 22.10.15.5.1 dans l'Extrême Nord, 200 kg/ha 15.20.15.6.1 + 50 kg/ha urée). Une formulation de

base moins riche en P_2O_5 proposée par YARA pour le Nord pourra être testée en comparaison simple de la fumure vulgarisée actuelle (avec un complément de magnésium correspondant aux quantités de Mg apportée par la proposition YARA mais non quantifiées) en 2006 dans un dispositif distinct de celui-ci. En effet, il nous semble prématuré à ce stade de l'évaluation des déficiences au niveau régional de tester l'évaluation dès 2006 de nouvelles formules de base, même si l'on sait pouvoir bénéficier d'un peu de marge de manœuvre sur le phosphore de la formule actuelle dans le Nord. Les principaux éléments du protocole constituent l'annexe 3.

La situation de chaque test est repérée par ses coordonnées géographiques de façon à pouvoir compléter par un éventuel prélèvement de sol, l'interprétation des résultats à la récolte. Les éléments du calendrier cultural seront enregistrés et l'observation de symptômes de déficiences en K et Mg sera faite par les agents chargés du suivi du dispositif. Une planche de photographies (annexe 4) complétées des images des annexes 7 et 8 du rapport "Evaluation du niveau général de la fertilité des sols" (ASCAM/Dr EKORONG, 31/01/05) illustrant ces symptômes leur sera fournie en début de campagne. Des observations sur ces symptômes dans des parcelles qui ne font pas partie du dispositif sont souhaitables afin de valider la représentativité du dispositif.

On prévoit 50 tests "interprétables", soit 70 tests mis en place, dans chacune des 5 grandes régions géographiques suivantes : Touboro – Garoua – Guider – Yagoua – Mowo.

L'interprétation des résultats pourra conduire en fonction de la fréquence des différentes déficiences révélées par le dispositif, à redéfinir les limites de ces ensembles géographiques déterminés a priori. C'est sur la base de ces "nouvelles" limites que seront proposées les recommandations pour de nouvelles formules d'engrais ou pour la complémentarité des formules actuelles.

Ainsi, le programme en 2007 pourra concerner la comparaison de différentes formules d'engrais établies à partir des résultats 2006. En 2008, ce type de dispositif pourrait aborder la question des doses préconisées par des courbes de réponse obtenues pour les formules retenues en 2007.

3.2. Acidification des sols.

L'objectif de l'essai proposé est d'évaluer les modalités de la fertilisation minérale des systèmes cotonniers (maïs/coton au Nord, sorgho/coton dans l'Extrême Nord), susceptibles de limiter ou d'enrayer le processus d'acidification du sol (déficit des bilans minéraux K, Ca et Mg, et rôle acidifiant des apports d'azote). Il est proposé dans chacune des 5 grandes régions géographiques retenues ci-dessus, deux essais statistiques. Chaque essai (3 objets, 8 blocs) est constitué de 2 séries (1 série coton et 1 série céréale : maïs au Nord et sorgho dans l'Extrême Nord). Chaque essai est implanté pour une durée de 5 ans. Deux "quarts" pour chaque implantation seront nécessaires, un pour la série en coton l'autre pour la série en céréale (24 parcelles élémentaires de 5 lignes de 24 m par essai). Les principaux éléments du protocole figurent en annexe 5.

3 traitements sont comparés dans l'essai :

- FV : fumure vulgarisée sur chacune des cultures de la rotation
- FN : fumure à réaction neutre composée d'engrais simples apportant les mêmes quantités d'éléments fertilisants mais non acidifiante
- FV+dolomie : fumure vulgarisée + amendement d'entretien sur la base de 2.8 kg de dolomie par kg d'azote apporté par la fumure.

Des prélèvements de sols seront réalisés à l'implantation et sur les séries en coton pour évaluer l'évolution du complexe d'échange sur chacun des objets en comparaison. Les calendriers culturaux et les densités sont enregistrés sur ces essais.

3.3. Analyse des fonctions de la matière organique du sol.

L'objectif est de caractériser la matière organique du sol résultant des différentes sources de biomasse. Cette caractérisation concerne le coefficient de transformation de la biomasse en matière organique du sol (coefficient iso-humique K_1 du modèle Hénin Dupuis), la minéralisation annuelle de la matière organique du sol (coefficient K_2 du modèle Hénin Dupuis), et la contribution des fractions de carbone du sol à la capacité d'échange cationique.

Une évaluation des ces différents coefficients a été faite à l'occasion d'un mémoire de DEA pour les systèmes de culture pratiqués dans la région de Garoua cf. plus haut). Cette étude vise à prolonger le travail qui a été fait en considérant les différents systèmes de culture qualifiés de traditionnels dans différentes zones du Cameroun. 3 à 5 zones seront retenues en fonction de l'opportunité de pouvoir comparer dans une même zone des systèmes traditionnels avec des systèmes "innovants" mettant en jeu les techniques SCV et des systèmes mettant en jeu des fumures organiques. Ainsi, le dispositif sera élargi aux systèmes de culture SCV pratiqués par des paysans et à des systèmes de culture paysans conduits avec des fumures organiques. Par ailleurs, les systèmes de culture conduits sur les sites de Zouana et de Pintchoumba dans le cadre du projet ESA mettent en jeu une extrême variabilité des quantités et une grande diversité de la nature des biomasses. Ces dispositifs constituent de ce fait un support exceptionnel pour ce type d'étude dans la mesure où les systèmes comparés sont conduits sur un pas de temps relativement long de 5 à 10 ans en mettant en jeu sensiblement mêmes volants organiques mis en jeu. Il convient en effet pour estimer les paramètres K_1 et K_2 du modèle de Hénin que le système (cultures et sol) ait atteint un certain équilibre dans les différents compartiments organiques. Les mesures à réaliser sur les systèmes de cultures retenus dans ce type d'étude concernent l'évaluation annuelle des biomasses de différentes natures exportées et restituées (rendements et résidus de culture), et des apports réalisés sous forme de fumure organique. Elle s'appuie sur des analyses de sols dans les systèmes de culture retenus tous les 2 ans à partir de 2006

Une telle étude en s'intéressant aux "coûts" de l'entretien d'un niveau de matière organique dans le sol pour les fonctions contribuant au processus de production, est en mesure de correspondre à des travaux de type DEA voire de thèse de doctorat. Ce type d'étude dans le domaine agro-économique peut être couplé à des études dans le domaine de la "science du sol" sur la matière organique du sol avec en particulier le paramétrage du modèle Hénin-Dupuis pour les différents systèmes de culture pratiqués ou expérimentés au Nord Cameroun.

Annexe 1 : Calendrier et déroulement de la mission.

Mercredi 26 : Arrivée à Garoua.

Visite à Mr. H. Gruson, Directeur Général Adjoint de la SODECOTON
Réunion de cadrage de la mission : MM. M.Theze, P.Asfom, A.Abou
Aba, C.Klassou, J.P.Olina, T.Brevault, D.Dessauw.

Jeudi 27 : Réunion de travail à l'IRAD Bocklé : MM. J.P.Olina et J.Wey
Réunion de travail à la SODECOTON : M. P.Asfom

Vendredi 28 : Réunion de travail avec ESA : MM. A.Abou Aba et O.Balarabe
Discussions avec MM. M.O.Amidou et F.Tsamba, Chefs de Région
Ngong et Garoua, et Chef Secteur Pitoa.

Samedi 29 : Garoua - Kaele avec M.P.Asfom
Visite au Chef de Région
Visite du site ESA de Zouana

Dimanche 30 : Garoua – carrefour Poli avec M.O.Balarabe
Visite du site de Pichoumba.
Séance de travail à Garoua avec MM. P.Asfom et J.P.Olina.

Lundi 1 : Rédaction du mémo.

Mardi 2 : Discussions avec MM. M.Thézé et J.P. Olina
Réunion avec MM. A.Abou Aba, O.Balarabe, J.P. Olina et J.Wey.

Mercredi 3 : Réunion de restitution : : MM. H. Gruson, M.Theze, A.Abou
Aba, J.P.Olina, T.Brevault, J.Wey, O. Balarabe, S.Gone.
Départ pour Yaoundé.
Rencontre de M. J. Ekorong (ex chercheur IRAD) Société ASCAM.

Annexe 2 : Quelques références bibliographiques des études et expérimentations sur la fertilisation des systèmes de culture cotonniers et la fertilité des sols.

Cameroun :

Résultats des tests et essais de fertilisation en milieu paysan dans la zone cotonnière au Nord Cameroun 2006 (J.P. Olina)

Evaluation du niveau général de la fertilité des sols 2005 (Dr. J.Ekorong, convention SODECOTON/ASCAM).

Observatoire de la fertilité au Nord Cameroun : Evolution de la fertilité des sols du bassin de la Bénoué 2004 (C.Fesneau, mémoire de DEA).

Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière Harmand, J.M., Njiti C. F. 1998 . - p.21-31 , Français In : Agriculture et Développement (1998) n°18

Evaluation et diagnostic de la fertilité. Projet Garoua 1991 (H.Suzor & al.).

Afrique :

Evolution de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des alfisols tropicaux cultivés. H. Guibert, 1999.

Expérimentation des systèmes de culture dans les pays tropicaux. Cas des zones cotonnières d'Afrique noire M.Cretenet 1994 . - p.125-130 , Français In : Recherches-système en agriculture et développement rural. Symposium international /Sébillotte M. (ed.); AFSRE; CIHEAM; CIRAD; CNEARC; GRET; INRA; ORSTOM. - Montpellier : CIRAD-SAR, 1994/11. - vol.1

Rapport de mission d'appui au Projet Mali Sud III (FAC). M.Cretenet 1993.

La gestion des résidus organiques à la ferme 1991 . - p.293-315, Français In : Savanes d'Afrique, terres fertiles? Piéri C. (ed.). - Paris : Ministère de la coopération, 1991

Fertilité des terres de Savanes : bilan de trente années de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. C.PIERI 1989.

La fertilité des sols et son évolution en zone cotonnière du Tchad Richard, L. Djoulet, B. 1985 21p. Français In : Coton et Fibres Tropicales. Série Documents, Etudes et Synthèses. - (1985)n°6

La fertilité des systèmes cultureux à base de cotonnier en Côte d'Ivoire. Neuf années d'expérimentation et d'observations multilcales (1973-1982) Sément, Gérard 1983 . - 40 p. - (Coton et fibres tropicales).

Annexe 3 : Tests d'évaluation des déficiences minérales

70 tests dans chacune des 5 grandes régions : Touboro – Garoua – Guider – Yagoua - Mowo. 1 quart par test

Observations et suivi :

- Chaque test compare 5 objets (FV, FV+K, FV+K+Mg, FV+K+Mg+Ca, ADER). (Choisir 1 ou 2 répétitions par test). Chaque parcelle élémentaire du test est constituée de 12 lignes de 50 m (dans le cas 1 répétition) Chaque parcelle élémentaire est constituée de 12 lignes de 24m (dans le cas de 2 répétitions)
- Chaque test est repéré en plus du nom du village et du nom du paysan par ses coordonnées géographiques de façon à pouvoir réaliser après la campagne un prélèvement en fonction des résultats du test. On prévoit de l'ordre de 10% des tests qui feront l'objet d'un prélèvement de sol.
- Une pancarte indiquant l'objet est placée en face de chaque parcelle élémentaire du test.
- L'engrais est appliqué environ 10 jours après la levée par ligne (dosettes à préparer). L'engrais est enfoui après épandage.
- Le calendrier cultural est enregistré : date du labour, date du traitement herbicide, date de semis, dates d'apport des engrais, date du premier sarclage, nombre de sarclages, date du premier traitement insecticide, nombre de traitements insecticides.
- Les symptômes foliaires de déficiences en K et Mg (se référer aux planches photographiques) seront notés sur chaque objet à 100 jours après semis.
- A la récolte : comptage du nombre de capsules et du nombre de graines de chacune des capsules de 5 plants de chaque parcelle élémentaire.
- Comptage des plants présents sur une portion de 10 m des 2 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire.
- Récolte et pesée des 8 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Une étiquette précisant l'identification du test et le nom de l'objet correspondant est placée dans chacun des sacs de récolte.

1_Tests milieu paysan EXTREME NORD

Doses d'engrais par ligne et par objet en comparaison :

Objet	Engrais	Selon option 1 ou 2 répétitions	
		Dose / ligne 24 m (g)	Dose / ligne 50 m (g)
FV Fumure Vulgarisée	22.10.15.6.1	380 g	800 g
FV + K	22.10.15.6.1	385 g	800 g
	KCl	95 g	200 g
FV + K + Mg	22.10.15.6.1	385 g	800 g
	KCl	95 g	200 g
	Kiesérite	95 g	200 g
FV + K + dolomie	22.10.15.6.1	385 g	800 g
	KCl	95 g	200 g
	Dolomie	190 g	400 g
ADER	Complexe micro granulé	380 g	800 g

Besoins en engrais par test :

	Besoins par test	Besoins par grande région
22.10.15.6.1	38.4 kg	2700 kg
KCl	7.2 kg	504 kg
Kiesérite	2.4 kg	168 kg
Dolomie	4.8 kg	336 kg
Complexe ADER	9.6 kg	672 kg

2_ Tests milieu paysan NORD

Doses d'engrais par ligne et par objet en comparaison :

Objet	Engrais	Selon option 1 ou 2 répétitions	
		Dose / ligne 24 m (g)	Dose / ligne 50 m (g)
FV	15.20.15.5.1	380 g	800 g
Fumure Vulgarisée	Urée (floraison)	95 g	200 g
FV + K	15.20.15.5.1	385 g	800 g
	KCl	95 g	200 g
	Urée (floraison)	95 g	200 g
FV + K + Mg	15.20.15.5.1	385 g	800 g
	KCl	95 g	200 g
	Kiesérite	95 g	200 g
	Urée (floraison)	95 g	200 g
FV + K + dolomie	15.20.15.5.1	385 g	800 g
	KCl	95 g	200 g
	Dolomie	190 g	400 g
	Urée (floraison)	95 g	200 g
ADER	Complexe micro granulé	380 g	800 g
	Urée (floraison)	95 g	200 g

Besoins en engrais par test :

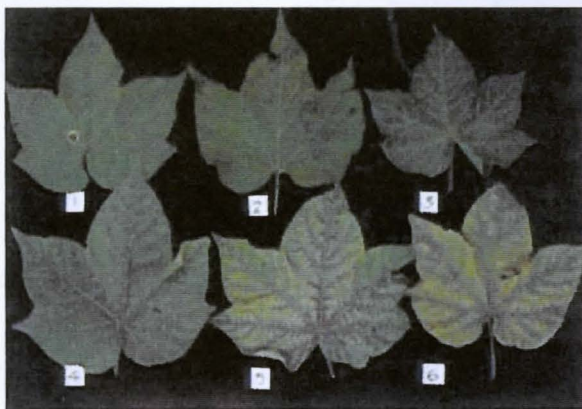
	Besoins par test	Besoins par grande région
15.20.15.5.1	38.4 kg	2700 kg
Urée	12.0 kg	840 kg
KCl	7.2 kg	504 kg
Kiesérite	2.4 kg	168 kg
Dolomie	4.8 kg	336 kg
Complexe ADER	9.6 kg	672 kg

Plan parcellaire :

5 plans types (tirages aléatoires) par option (1 ou 2 répétitions) sont proposés dans un document à part. Après avoir choisi l'option, il faut tirer pour chaque grande région, 14 protocoles avec chacun des plans types (14*5=70).

Annexe 4 : Symptômes des déficiences minérales.

- Potassium



- Magnésium



Annexe 5 : Essai acidification du sol

2 essais dans chacune des 5 grandes régions : Touboro – Garoua – Guider – Yagoua – Mowo.

2 quarts par essai : 1 quart coton, 1 quart maïs dans le Nord, 1 quart sorgho dans l'extrême Nord. La rotation est coton-maïs au Nord, coton-sorgho dans l'extrême Nord. Chaque année il y a un quart en coton et l'autre en maïs au Nord, en sorgho dans l'extrême Nord.

Chaque essai est implanté sur 2 quarts contigus pour une durée de 5 ans.

Observations et suivi :

- Chaque essai compare 3 objets (FV, FN et FV+dolomie) dans un essai blocs à 8 répétitions. Chaque parcelle élémentaire est constituée de 5 lignes de 24m (interligne de 0m80).
- Un échantillonnage de sol (par horizon textural cf. J.P.Olina) est constitué chaque année sur chacun des 3 objets en comparaison dans le quart coton. Chaque échantillon de sol correspond au mélange de prélèvements de terre réalisés dans chacune des 8 parcelles élémentaires de chacun des objets.
- Le calendrier cultural est enregistré : date du labour, date du traitement herbicide, date de semis, dates d'apport des engrais, date du premier sarclage, nombre de sarclages, date du premier traitement insecticide, nombre de traitements insecticides.
- L'engrais est appliqué par ligne dans un petit sillon environ 10 jours après la levée. L'engrais est enfoui après épandage.
- Les éventuelles symptômes foliaires de déficiences en K et Mg sur coton (se référer aux planches photographiques) seront notés à 100 jours après semis.
- A la récolte du coton : comptage du nombre de graines de chacune des capsules de 5 plants de chaque parcelle élémentaire. Pesée du coton graine de chaque plant et calcul du PMC pour chacun des plants.
- A la récolte sur coton sorgho et maïs : comptage des plants présents sur la ligne centrale de chaque parcelle élémentaire.
- Sur coton sorgho et maïs : récolte et pesée des 3 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Une étiquette précisant le numéro de la parcelle élémentaire et le nom de l'objet correspondant est placée dans chaque sac de récolte.

1_Essai acidification EXTREME NORD

Coton : doses d'engrais par ligne et par objet en comparaison :

Objet	Engrais	Dose (kg/ha)	Dose / ligne 24 m (g)
FV Fumure Vulgarisée	22.10.15.6.1	200	385 g
FN Fumure Neutre	Urée Super Simple Triple Super KCl Boracine Chaux	95 85 10 50 15 55	180 g 165 g 20 g 95 g 30 g 105 g
FV + dolomie Amendement entretien	22.10.15.6.1 Dolomie	200 125	385 g 240 g

Sorgho : doses d'engrais par ligne et par objet en comparaison :

Objet	Engrais	Dose (kg/ha)	Dose / ligne 24 m (g)
FV Fumure Vulgarisée	Urée	50	95 g
FN Fumure Neutre	Urée Chaux	50 40	95 g 75 g
FV + dolomie Amendement entretien	Urée Dolomie	50 65	95 g 125 g

Besoins en engrais par essai :

	COTON	SORGHO	Total/site
22.10.15.6.1	30.8 kg		31.0 kg
Urée	7.2 kg	11.4 kg	19.0 kg
Super Simple	6.6 kg		7.0 kg
Triple Super	0.8 kg		1.0 kg
KCl	3.8 kg		4.0 kg
Boracine	1.2 kg		1.5 kg
Chaux	4.2 kg	3.0 kg	7.5 kg
Dolomie	9.6 kg	5.0 kg	15.0 kg

2_Essai acidification NORD**Coton** : doses d'engrais par ligne et par objet en comparaison :

Objet	Engrais	Dose (kg/ha)	Dose / ligne 24 m (g)
FV Fumure Vulgarisée	15.20.15.5.1 Urée (floraison)	200 50	385 g 95 g
FN Fumure Neutre	Urée Super Simple Triple Super KCl Boracine Chaux Urée (floraison)	65 100 50 50 15 60 50	125 g 190 g 95 g 95 g 30 g 115 g 95 g
FV + dolomie Amendement entretien	15.20.15.5.1 Dolomie Urée (floraison)	200 150 50	385 g 290 g 95 g

Maïs : doses d'engrais par ligne et par objet en comparaison :

Objet	Engrais	Dose (kg/ha)	Dose / ligne 24 m (g)
FV Fumure Vulgarisée	15.20.15.5.1 Urée	100 150	190 g 290 g
FN Fumure Neutre	Urée Super Simple Triple Super KCl Boracine Chaux	185 50 25 25 7 135	355 g 95 g 50 g 50 g 15 g 260 g
FV + dolomie Amendement entretien	15.20.15.5.1 Dolomie Urée	100 235 150	190 g 450 g 290 g

Besoins en engrais par essai :

	COTON	MAIS	Total/site
15.20.15.5.1	30.8 kg	15.2 kg	46.0 kg
Urée	16.5 kg	37.4 kg	54.0 kg
Super Simple	7.6 kg	3.8 kg	11.5 kg
Triple Super	3.8 kg	2.0 kg	6.0 kg
KCl	3.8 kg	2.0 kg	6.0 kg
Boracine	1.2 kg	0.6 kg	2.0 kg
Chaux	4.6 kg	10.4 kg	15.0 kg
Dolomie	11.6 kg	18.0 kg	30.0 kg

Plan parcellaire :

5 plans types (tirages aléatoires) sont proposés dans un document à part. Pour chaque site (2 par grande région), il faut tirer au hasard 2 plans types : un pour le coton, l'autre pour le maïs (Nord) ou le sorgho (Extrême Nord).